



EESTI MAAÜLIKOOL

Veterinaarmeditsiini- ja loomakasvatuse instituut

Annabell Lohvart

**SILO TOOTMISE JA FERMENTATSIOONI KVALITEEDI
VAHELISTE SEOSTE UURIMINE**

**THE RELATIONSHIP BETWEEN SILAGE PRODUCTION AND
FERMENTATION QUALITY PARAMETERS**

Bakalaureusetöö

Loomakasvatuse õppekava

Juhendaja: teadur Andres Olt

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1A, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Annabell Lohvart		Õppekava: Loomakasvatus	
Pealkiri: Silo tootmise ja fermentatsiooni kvaliteedi vaheliste seoste uurimine			
Lehekülgi: 44	Jooniseid: 0	Tabeleid: 6	Lisasid: 8
Osakond: Söötmisteaduse õppetool Uurimisvaldkond: Juhendaja: teadur Andres Olt Kaitsmiskoht ja aasta: Kreutzwaldi 62 A201, Tartu, 2019			
<p>Bakalaureusetöös uuriti tootmise mõju silo fermentatsioonile ja keemilisele koostisele. Selleks koostati 2016. aasta siloproovide analüüsi tulemustest <i>MS Excel 2013</i> programmi andmebaas. Silo tootmistegurite analüüsil uuriti erinevate silokultuuride, hoidla tüübi, niite, silokindlustuslisand mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooni kvaliteedile. Siloproovide fermentatsiooni kvaliteedi ja keemilise koostise näitajad määrati keemilisel analüüsil Eesti Maaülikooli söötmisteaduse õppetooli sööda ja ainevahetuse uurimise laboratooriumis.</p> <p>Põhiliseks söödaks veistele on tänapäeval silo. Silo kvaliteet mõjutab loomade heolu, tervist ja toodangu kvaliteeti. Erinevatel silokultuuridel on neile omane keemiline koostis ja kasvamiseks sobivad tingimused, millega peab arvestama silo tootmisel. Põllumajandustootjad kasutavad erinevaid silohoidlaid sõltuvalt võimalustest ja vajadustest. Silo fermentatsiooni kvaliteedi parandamiseks kasutatakse silokindlustuslisandeid, mis pidurdavad mittesoovitud mikroorganismide arengut ning parandavad fermentatsiooni.</p>			
Märksõnad: sööda kvaliteet, sileerimine, närvutamine, silohoidla, silokindlustuslisand.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Annabell Lohvart		Specialty: Animal Science	
Title: THE RELATIONSHIP BETWEEN SILAGE PRODUCTION AND FERMENTATION QUALITY PARAMETERS			
Pages: 44	Figures: 0	Tables: 6	Appendixes: 8
Department: Chair of Animal Nutrition Field of research: Agricultural Sciences, Nutrition Supervisors: researcher Andres Olt Place and date: Kreutzwaldi 62 A201,Tartu 2019			
<p>In this Bachelor's thesis were analysed silage productions effects on fermentation, metabolism and chemical composition. Program <i>Excel 2013</i> was used to input silage analysis data on to a complete database. Different production factors were caused by plant crops, silage storage, cutting phase and silage additive. The effects of production factor were compared with chemical composition, metabolism and fermentation quality. Silage samples were analyzed in the laboratory of feed analyses and metabolism at the Estonian University of Life Sciences.</p> <p>Nowadays the main feed for bovines is silage. Silage quality affects animal welfare and health. Different plant crops for silage have inherent chemical composition and habitat areas. These factors are important for growing good ensilaged material. Agriculture producers are using diferent silage storage systems according to their needs and possibilitis. To ensure silage fermentation quality agriculture producers are using diferent silage additives to reduce undesirable microorganisms development.</p>			
Keywords: feed quality, ensiling, wilting, storage, silage additive.			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
Tänuavaldus.....	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	7
1.1. Silo ja sileerimine	7
1.2. Silokultuurid	8
1.3. Kõrrelised heintaimed.....	9
1.4. Liblikõielised heintaimed	9
1.4.1. Ristik.....	9
1.4.2. Lutsern.....	10
1.5. Teraviljad.....	10
1.5.1. Tervikkoristatud mais	11
1.6. Silo fermentatsiooni mõjutavad tegurid	11
1.7. Silo keemiline koostis.....	13
1.8. Tehnoloogiliste faktorite mõju silo kvaliteedile	14
1.8.1. Niide	14
1.8.2. Silohoidlad.....	15
2. OMAD UURIMUSED	17
2.1. Materjal ja meetodika.....	17
3. TULEMUSED	19
3.1. Silode keemiline koostis, toiteväärtus ja fermentatsiooninäitajad.....	19
3.1.1. Botaanilise koostise mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele.....	19
3.1.2. Kuivainesisalduse mõju rohu- ja maisisilo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele	23
3.1.3. Niite mõju rohusilo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele.....	25
3.1.4. Hoiustamise viisi mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele.....	27
3.1.5. Silokindlustuslisandi kasutamise mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele	28
4. KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED	31

KASUTATUD KIRJANDUS	33
LISAD	35
Lisa 1. Erineva botaanilise koostisega silode statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*	36
Lisa 1.1. Erineva botaanilise koostisega silode statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*	37
Lisa 1.2. Erineva botaanilise koostisega silode statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*	38
Lisa 2. Erineva kuivainetesisaldusega rohusilode statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*	39
Lisa 3. Erineva kuivainetesisaldusega maisisilode statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*	40
Lisa 4. Erineva rohusilo niidete statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*	41
Lisa 5. Erineva silohoidlate statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*	42
Lisa 6. Erineva silokindlustusvahendite statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel *	43

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on silost saanud põhisööt veiste söötmisel. Silo söödetakse loomadele nii ainsa söödana, kui erinevate jõusöötade, mineraalainete ja muude lisandite seguna, mida nimetatakse täisratsiooniliseks segasöödaks. Rohumaa rajamisest, silo tootmisest kuni silo söötmiseni on pikk periood, mille iga tootmisprotsessi osal on tähtis roll silo kvaliteedi seisukohast. Tegureid, mis mõjutavad silo fermentatsiooniprotsessi ja keemilist koostist on palju.

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida Eesti põllumajandustootjate silode fermentatsiooni kvaliteedi, toiteväärtuse ja keemilise koostise seost, silokultuuri, niite, hoidlatüübi, ja silokindlustuslisandi kasutamise vahel.

Tänuavaldus

Töö autor tänab oma juhendajat Andres Olt'i. Samuti tänan Eesti Maaülikooli sööda ja ainevahetuse uurimise laborit, võimaluse eest kasutada analüüsitud söötade andmeid oma lõputöös ning labori personali nende abi eest.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Silo ja sileerimine

Silo on mahlakas sööt, milles säilivad õige sileerimise tulemusena toitained, vitamiinid ning taimse materjali värvus hoidla täitmisest kuni söötmiseni. Sileerimise tulemusena muutub taimne materjal pehmemaks ja isuäratavamaks loomadele (Ahven, 1961). Sileerimine on söötade konserveerimise meetod, mida kasutatakse taimse materjali pikaajaliseks säilitamiseks. Silo valmistamiseks kasutatakse erinevaid taimekultuure. Sileerimisel toimuvad erinevad keemilised ja mikrobioloogilised protsessid. Silo õige käärimine saab toimuda ainult anaeroobses keskkonnas, kus on piimhappebakteritele soodne keskkond sileerimisprotsessi algatamiseks. Eduka sileerimise eelduseks peab taimedes olema piisavalt vees lahustuvaid süsivesikuid ehk suhkruid ning piimhappebakteritel ülekaal teiste mikroobide üle. Soodsamate tingimuste loomiseks võib silo valmistamisel kasutada õiges proportsioonis ja toimeainega silokindlustuslisandeid. Samuti soodustab õiget fermentatsiooni taimse materjali eelnev närvutamine (Lättemäe, 2008). Hea silo saamiseks peavad piimhappebakterid sileerimisprotsessil tootma suhkrutest piimhapet, mille mõjul langeb taimse materjali pH (Olt, 2013).

Sileerimisprotsessi jagatakse neljaks etapiks. Esimene on aeroobne etapp, kus paari tunni jooksul pärast niitmist muutuvad aktiivseks taimede ensüümid ja mikrobioloogilise aktiivsusega algab suhkrute lõhustumine. Teiseks etapiks on põhi fermentatsiooni etapp, mille pikkus võib varieeruda ühest nädalast kuni rohkem kui kuu pikkuseks perioodiks. See periood algab silohoidla hermeetilise sulgemisega. Faasi pikkus oleneb sileeritava taimse materjali keemilisest koostisest. Teises faasis konkureerivad omavahel piimhappebakterid ja silo riknemist põhjustavad mikroorganismid. Kui fermentatsiooni selles faasis on domineerivad piimhappebakterid, siis toimub sileerimine mööda õiget fermentatsioonirada. Kolmandaks on nn stabiilse silo etapp, kus aktiivne fermentatsioon on lõppenud ja seda eeldusel, et hoidla on õhukindlalt suletud. Neljandaks faasiks on ettesöötmise periood, kus hapniku ligipääs silole on kiire ja mille tagajärjel soovimatute mikroorganismide tegevus muutub taas aktiivseks (Pahlow jt, 2003). Fermenteerunud sööta on pikaajaliselt võimalik

säilitada ainult anaeroobses keskkonnas. Silohoidla avamisel tuleb silo sööta kiiresti ja tagada, et õhuga puutuks kokku võimalikult väike pind silofrondist. Kui õhu juurdepääs on pikaajaline, siis aeroobsed mikroorganismid muutuvad aktiivseks, silo võib kuumeneda ja võivad tekkida toksilised ühendid (Ohshima, 1970).

1.2. Silokultuurid

Silo valmistamiseks on võimalik kasutada erinevat taimset materjali. Sileeritakse kõrrelisi ja liblikõielisi heintaimi, looduslikelt ja poollooduslike kooslustega rohumaadelt niidetud haljasmassi, erinevaid teravilju, aga ka kaun- ja juurvilju. Erinevaid kultuure võib külvata samale põllule kasutades ühte nn aluskultuurina. Seemneid külvatakse erinevates vahekordades ja aegadel, et tagada kattekultuuri hea kasv ja ära hoida selle lamandumine. Teraviljade allakülviks kasutatakse näiteks liblikõielisi heintaimi. Samuti kultiveeritakse erinevate taimede seemnesegusid, et parandada mullaomadusi ning tagada suurem saagikus ja mitmekülgsem loomasööd (Bender, 2006).

Eestis kasutatakse loomade söötmisel enamjaolt kõrreliste (timut, kerahein, raihein, aruhein jt), segatiste (teravili koos heintaimedega), nn põldheina, punase ristiku, söödagaleega ehk ida-kitseherne, lutserni, kaera- ja odravilise, maisi ja teiste söödakultuuride silo. Erinevate silokultuuride puhul kasutatakse erinevates proportsioonides taimeliikide segusid. Näiteks segatise silo võib koosneda mõnest tervikkoristatud teraviljast ja 50% või 25% hernest. Põldheinasiloks nimetatakse kõrreliste ja ristiku erinevates vahekordades segudest valmistatud silo. Söödagaleegat ja lutserni kasvatatakse sageli puhaskultuurina, kuid ka segus kõrrelistega (Oll, 1993).

Konserveeritud viisil kasutatakse loomade söötmiseks muljutud ja fermenteeritud kaera või otra jt teravilju, mugul- ja juurviljadest kartulit, söödapeeti, poolsuhkrupeeti, suhkrupeeti ja porgandit. Teraviljade puhul rakendatakse kahte sileerimise viisi. Esimene on tervikkoristus, kus kasutatakse ka lehe- ja kõrreosa ning teine on ainult terade konserveerimiseks (Oll, 1993). Lisaks eelloetletule sileeritakse erinevaid toiduaine- ja alkoholitööstuse kõrvalsaaduseid, nagu suhkrupeedilõigud, pulbid, õlleraba ja praak, et pikendada nende säilivust

1.3. Kõrrelised heintaimed

Kõrreliste heintaimede sugukonnast kasvatatakse Eestis silo valmistamisel peamiselt põldtimutit (*Phleum pratense* L.), karjamaa-raiheina (*Lolium perenne* L.), itaalia raiheina (*Lolium multiflorum* Lam. Ssp. *italicum*), üheaastast raiheina (*lolium multiflorum* Lam. Ssp. *Westerwoldicum* Wittm), roog-aruheina (*Festuca arundinacea* Schreb.), harilikku aruheina (*Festuca pratensis*), punast aruheina (*Festuca rubra* L.) ja harilikku keraheina (*Dactylis glomerata*) (Bender, 2006).

Kõrrelised heintaimed on kõrgema suhkrutesisaldusega, kui liblikõielised heintaimed. Kõrrelistest heintaimedest on kõrgema suhkrutesisaldusega raiheinad (160g/kg kuivaines (KA)), järgnevad põldtimut ja harilik aruhein (45 g/kg KA-s) ning vähem on harilikus keraheinas (<45 g/kg KA-s) (Bender, 2006). Taimede suhkrutesisaldus sõltub nende arengufaasist. Heintaimede suhkrutesisaldus tõuseb kuni õitsemiseni (Older, 2011). Lisaks KA ja suhkrutesisaldusele on oluline näitaja taimede puhverdusvõime. Puhverdusvõime näitab taimede võimet vastu panna pH muutustele. Kui puhverdusvõime on suur, siis on selline taimne materjal raskemini sileeritav (Olt, 2003). Kõrreliste heintaimede puhverdusvõime suureneb tavaliselt väetamisega. Kõrrelistel heintaimedel on KA sisaldus suurem ning toortuha- ja proteiinisaldus väiksem, kui liblikõielistel. Kõrreliste heintaimede puhverdusvõime on madalam ning võrreldes liblikõieliste heintaimedega on neid lihtsam sileerida (Lättemäe, 2008).

1.4. Liblikõielised heintaimed

1.4.1. Ristik

Liblikõieliste heintaimede sugukonda kuuluvatest taimedest kasvatatakse Eestis silo valmistamiseks peamiselt ristikut, neist sagedamini punast ristikut (*Trifolium pratense*), harvem valget (*Trifolium repens* L) ja roosat ristikut (*Trifolium hybridum* L). Kõigi liikide puhul on sarnaseks nii mulla tüüp, kui ka kasvukoht (Older, 1997). Ristik talub niiskeid ja kõrge pH-ga (kuni pH 4) raskeid muldasid. Roosa ristik talub parmini keskkonna muutusi,

ilmastikuolusid ja erinevaid mullatüüpe võrreldes valge ristikuga. Maitseomaduste poolest on valge ristik mahedam, kuid on raskemini närvutatav, kui punane või roosa ristik (Bender, 2006). Liblikõielistel taimedel on suur proteiinisaldus ja toiteväärtus ning kõrge puhverdusvõime. Suhkrutesisaldus on liblikõielistes väiksem ning seetõttu võrreldes kõrreliste heintaimedega on liblikõielisi taimi raskem sileerida (Tamm, 2005).

1.4.2. Lutsern

Lutsern on liblikõieline taim, mis vajab kasvamiseks kuivemaid muldasid ja kliimat. Lutsern, nagu ka ristik, ei sobi kasvatamiseks rähk-, saviliiv- ja liivmuldadel (Older, 1997). Lutserni on raske sileerida, kuna puhverdusvõime on kõrge ja suhkrutesisaldus madal. Liigile omaselt on taimede peal vähe piimhappebaktereid, mis teeb fermentatsiooni protsessid keerulisemaks. Lutsernile on iseloomulik kõrge toitainete- ja proteiinisaldus (Sheldrick, 1995).

1.5. Teraviljad

Silo valmistatakse kõikidest teraviljadest, kuid tänaseks on kõige laialdasemalt kasutusel mais. Teraviljast valmistatakse sileeritud sööta kahel viisil. Rakendatakse teravilja tervikkoristust või sileeritakse ainult teri. Viimast nimetatakse konservviljaks, mis enamikel juhtudel on eelnevalt ka muljutud. Viimastel aastatel on hakatud rohkem sileerima rukist ja otra, kuna on vastupidavamad ja vähemtundlikumad meie kliimale. Nisu kasutamine konservviljaks on Eesti tingimustes kallis ja seda seemnete hinna tõttu (Läänemets 2018).

Teravili, mida kasvatatakse silo valmistamiseks ei pea valmima täielikult. Tervikkoristatud teravilja sileerimiseks on vajalik vähemalt poolte terade valmimine. Teravilja tervikkoristuse puhul on põhu osakaal suur ja silo hekslipikkus peab jääma 3-4 cm juurde (Kuningas, 2013).

1.5.1. Tervikkoristatud mais

Eestis hakati kasvatama maisi (*Zea mays*) juba 50.ndatel aastatel uue loomasööda alternatiivina, kuid sobilike sortide puudumisel see peagi soikus. Tänapäevaks on olukord muutunud ning maisi kasvatamine siloks on üha levinum. Maisisilo kasutamise eelis loomade söötmisel on suur saagikus, KA , energia- ja tärglisesisaldus. Maisisilo tootmise puhul rakendatakse tervikkoristust hooaja jooksul ühe korra. Seega on mais meie kliimas kõrgema riskiga kasvatatav kultuur ning terad ei jõua täielikult valmida (Kärt, 2015).

Maisi kasvatamiseks sobivad viljakamad mullad, turvas-, ega savimullad ei sobi. Maisi puhul tuleb silmas pidada, et koristustööd ei käi nii kiiresti, kui teiste eelpool nimetatud kultuuridega (Older, 2011).

Maisi vegetatsiooni algul domineerivad mittestruktuursed süsivesikud ehk suhkrud. Suhkrud muudetakse maisiteras tärgliseks alatest tera loomise algusest. Suhkrute sisaldus on maisis kõrgem, kui heintaimedel. Maisi sileerimine on lihtne tänu kõrgele suhkrutesisaldusele. Puhverdusvõime ja suhkrutesisaldus langeb maisil valmimisperioodi lõpus (McDonald jt, 1991).

1.6. Silo fermentatsiooni mõjutavad tegurid

Silo fermentatsiooni mõjutavad nii mikrobioloogilised, keemilised kui ka tootmisest tingitud tegurid. Niitmise järgselt toimub niinimetatud taimeraku hingamine ning algab mikroorganismide poolne suhkrute kasutamine. Hea silo saamiseks on oluline, et piimhappebakterite arvukus taimedel oleks suur. Klostriidide, enterobakterite, pärm- ja hallitusseente suur osakaal taimedel põhjustab silo riknemist (Kokk, 2013).

Üheks võimaluseks silo fermentatsiooni soovitud suunas juhtida on sileeritava taimse materjali närvutamine. Närvutamise on võimalik tõsta suhkrute sisaldust ning langetada puhverdusvõimet, et takistada silo riknemist põhjustavate mikroorganismide arengut (Sarand, 2006). Närvutamiseks kuluv aeg sõltub taimse materjali botaanilisest koostisest ja ilmastikust. Liblikõieliste heintaimede närvutamine võtab kauem aega võrreldes kõrreliste

heintaimedega. Närvutamise üheks eesmärgiks on ka vähendada hoiustamisel eralduvaid liigseid silomahlasid. Närvutamisega võib taimse materjali mahlakadu vähendada kuni 15%.

Kindlustuslisandite õigesti kasutamise mõju silo fermentatsioonile võib olla suur. Erinevad kindlustuslisandid toetavad erinevaid fermentatsioonil toimuvaid protsesse. Silo kindlustuslisandite valiku puhul tuleb arvestada taimse materjali koostist, KA sisaldust, närvutamiseks kulunud aega ja hoidla tüüpi. Kasutatavaid silokindlustuslisandeid jagatakse viide gruppi (Bender, 2006).

Esimeseks on fermentatsiooni stimuleerivad lisandid, mille koostises võivad olla suhkrud, ensüümid ja/või homofermentatiivsed piimhappebakterid, mis soodustavad piimhappelise fermentatsiooni kulgu. Eestis kasvatatavate kultuuride suhkrutesisaldus võib jääda madalaks. Erinevate suhkrute lisamine sileeritava materjali hulka kiirendab protsessi, et piimhappebakteritel oleks piisavalt kättesaadavaid lihtsuhkruid piimhappeliseks fermentatsiooniks. Selleks kasutatakse vadakut, melassi suhkrupeedilõike, harva sahharoosi või glükoosi. Samuti lisatakse ensüüme, mille eesmärgiks on suurendada piimhappebakteritele kättesaadavate süsivesikutesisaldust. Taime rakukestaaaineid lõhustades muutub tselluloos ensüümide toimel glükoosiks ja maltoosiks ning hemitselluloos pentoosideks. Ensüümide mõju pärsib liiga kõrge või madal temperatuur. Samuti mõjutab ensüümide aktiivsust keskkonna happelisus. Ensüüme sisaldavad silokindlustusvahendid on kallid, mistõttu neid kombineeritakse pigem koos bakterjuuretisega. (Olt, 2016).

Erinevalt eelnevalt mainitud silokindlustuslisanditest, kasutatakse veel erinevaid happeid, soolasid ja keemilisi ühendeid, fermentatsiooni pärssimiseks. Selliseid lisandeid kasutatakse peamiselt silode korral, mis on märjad ja mille puhul tuleb ebasobivate mikroorganismide kasvu pidurdada. Samuti kasutatakse neid lisandeid silode puhul, millel on madal suhkru- ja KA sisaldus. Pärssivad kindlustuslisandid soodustavad piimhappelise fermentatsiooni ja kiirendavad pH langust (Lättemäe, 2008).

Riknemist põhjustavate mikroobide vastu on tõhusaim silokindlustuslisandites kasutatav sipelghape. Selle happe toimeks on kiire ebasobivate mikroorganismide (väljaarvatud pärmi- ja hallitusseened) arengu pidurdamine läbi kiire pH alanemise. Silokindlustuslisandite koostises kasutatakse ka erinevaid sipelghappesoolasid. Samuti kasutatakse sipelg- ja propioonhappe kombinatsioone ning paljusid teisi happeid nagu sorbiini-, bensoe- ja

äädikhappe (Olt, 2016). Hapete kasutamisel silo valmistamisel tuleb tagada vastav tööohutus, mis on toote pakendiinfo (Bender, 2006).

Aeroobse riknemise vältimiseks kasutatakse silokindlustuslisand võib koosneda heterofermentatiividest piimhappebakteritest, propioonhappebakteritest, hapetest või hapete sooladest. Aeroobse riknemist takistavad silokindlustuslisandid hoiavad ära silo kuumenemise. Näiteks propioonhape sobib hästi silo isekuumenemise vältimiseks, st erinevalt sipelghappest suudab propioonhape pidurdada pärm- ja hallitusseente arengut ning sobib hästi maisi- ja kõrreliste silo valmistamiseks (Olt, 2016).

1.7. Silo keemiline koostis

Silo laboratoorsel analüüsimisel on võimalik saada informatsiooni selle kvaliteedi kohta. Söötadest määratakse KA-, toorproteiini-, toortuha-, toorrasva-, toor-, neutraal- ja happekiud-, lämmastikuta ekstraktiivainete-, erinevate makro- ja mikroelementide, rasv- ja aminohapete, ammoniaaklämmastiku- ning mükotoksiinididesisaldus, mikroorganismide esinemine ja palju muud. Keemilise koostise laboratoorse analüüsi tulemusena on võimalik leida sööda toiteväärtus vastavalt loomaliigile (Olt, 2013).

Silo keemiline koostis on sõltuvuses silo KA-ga. Hea sileeritavusega taimse materjali KA on 30 kuni 40%. Kui toortuhasisaldus on üle 10%, siis on enamasti tegemist tootmisest või taimede kasvukeskkonnast tingitud saastunud siloga. Silos esinev proteiinisaldus annab palju informatsiooni taimede arengufaasist ja siloks kasutatud taimekultuuridest (Olt, 2013).

Heintaimede proteiinisaldus on suurem taime varasemas arengufaasis. Hilisemas arengufaasis hakkab proteiinisaldus vähenema rakusisu ja rakukesta ainete proportsionaalse muutuse tõttu. Proteiinisaldus on kõrgem liblikõielistel heintaimede silodel, järgnevad kõrrelised heintaimed ning madalaim on maisisilol. Kõrge proteiini sisaldusega taimedel on suurem puhverdusvõime, mistõttu on pH alanemine raskem. Hea silo puhul on toorproteiinisaldus 15% juures ja maisisilo puhul on see enamasti alla 10%. Taime rakukesta ained sisaldavad tselluloosi, hemitselluloosi, ja ligniini, mis on raskesti seeduvad süsivesikud. Hea silo puhul peaks toorkiusisaldus jääma alla 27%. Neutraalkiud (NDF) sisaldab samuti taimeraku kestaaineid ning selle väiksem osakaal silos tähendab

paremat söömust loomadel. Olenevalt silokultuurist peaks söödaratsiooni KA-s olema vähemalt 26% NDFi. Happekiu (ADF) koostises on tselluloos ja ligniin. Mida hilisem on taime arengufaas, seda suurem on ka ADFi sisaldus ja seda väiksem on silo seeduvus loomadel. Antud lõputöös ei käsitleta NDFi ega ADFi sisaldust, kuna EMÜ sööda ja ainevahetuse uurimise labori silo rutiinanalüüsil neid ei määrata. Lämmastikuta ekstratiivained (N-ta e-a) on kergesti seeduvad süsivesikud, peamiselt tärklis ja suhkrud. Lämmastikuta ekstratiivaineid saadakse arvutuslikult toortuha, proteiini, toorrasva ja toorkiu summa vahena KA-st. Toorrasvad söödas on vees mittelahustuvad ja kõige energiarikkam toitained silos. Toorrasva sisaldus taimedes oleneb kasvatavatest silokultuuridest. Erinevate mineraalelementide määramine sõltub labori võimalustest, aga peamisteks silos määratavateks mineraalelementideks on kaltsium, fosfor ja kaalium (Olt, 2013).

1.8. Tehnoloogiliste faktorite mõju silo kvaliteedile

1.8.1. Niide

Niite mõju taimse materjali keemilisele koostisele on suur. Niide mõjutab nii sileerimise efektiivsust, kui ka silo seeduvust. Esimesest niitest valmistatud silo toiteväärtus on sama keemilise koostise juures enamasti kõrgem kui järgnevatel niidetel. Kõrge toiteväärtusega silo tõstab loomade söömust ja jõudlus. (Nousianinen jt, 2003). Rohusilode esimese niite saab tavaliselt koristada juba mai lõpus või juuni alguses, teise niite juulis ning kolmanda niite augusti keskpaigas või septembris. Neljandat niidet õnnestub koristada harvadel aastatel, pika sooja sügise korral näiteks oktoobris (Kuoppala jt, 2010). Mida varajasem on niide, seda kõrgem on taimedes mineraalelementide sisaldus (Khalili jt, 2005).

1.8.2. Silohoidlad

Silo säilitusviisid ja meetodid olenevad kasvatavatest kultuuridest, loomade arvust, tarbitavast sööda hulgast, keskmisest söödakulust looma kohta päevas ja söötmisspäevade arvust. Nende tulemusel saab arvutada, kui palju silo kulub ja millist hoidlatüüpi eelistada (Older, 1997).

Igal hoidlatüübil on omad tehnoloogilised eelised ja puudused, mis võivad kajastuda silo fermentatsiooni näitajates. Silo säilitamiseks kasutatakse maapealset kuhja, rullisilo tehnoloogiat, torn-, tunnel- ja tranšeehoidlat (Kaldmäe, 2008).

Maapealne kuhi on ilma kindla suuruse ja kujuta hoiustamise viis, mille puhul puuduvad nn hoidlal seinad ja põhjaks on betoonpõhi, asfalt, kruusa- või mullapind, mille peal on paigaldatud kile. Maapealse kuhja puhul on taimse materjali kaitseks ainult peale käiv plastkile, mille servad on pandud taimsematerjali alla või hoopis raskustega alla surutud. Sellist meetodit kasutatakse tavaliselt suurte loomafarmide puhul, kui pole võimalik ehitada rohkem tranšeehoidlaid. Sellise hoidla plussiks on lihtne ja kiire hoiustamine ning minimaalne vajalik investeering. Hoidla miinuseks on liiga suur sõltuvus puhtalt plastkilest ja samuti on nõrgem kaitse näriliste, lindude, sademete ja muude ilmastikunähtuste eest. Maapealse kuhja puhul on suurem oht looduse saastamiseks, näiteks silomahlade sattumine veekogusse või põhjavette (Lättemäe, 2008).

Rullisilo on taimse materjali kokku pressimisel saadud silinderja kujuga ruloon, mille ümber on mähitud hermeetilisust tagav plastikkile. Taimse materjali peaks katma minimaalselt neljakordse plastikkile kihiga. Sellise säilitusviisi puhul ei ole vaja investeerida hoidla ehitusse, küll aga tehnikasse. Rullisilo transportimine on lihtne, küll aga võivad transpordi käigus lihtsasti tekkida silokillesse augud, mis kiirendavad silo riknemist. Rullisilo tootmisega kaasneb suur kogus kilet, mida on keeruline taaskasutada. (Vough jt, 1993).

Tornhoidla on vertikaalne silinderjas mahuti, kuhu lisatakse taimne materjal hoidla ülevalt. Silo väljalaadimiseks kasutatakse torni põhjas olevat lintsüsteemi. Siloks kasutatav taimne materjal surub omal raskusjõul silo tihedamaks. Samuti kasutatakse silo alla surumiseks raskuseid tornhoidla peal (Bolsen jt, 1997). Tornhoidla ehitamine on kulukas ja Eestis sellist hoidlatüüpi ei kasutata.

Tunnelhoidla on silinderjas pikk plastikkilega kõikidest külgedest suletud silo säilitusviis. Tunnelsilo tootmiseks kasutatavad masinad on spetsiifilised ja selleks otstarbeks loodud. Sellise silo hoiustamise puhul on negatiivseks teguriks tekkiv suur kogus kasutatud plastikkilet, mille taaskasutusprotsess on keeruline. Sellise hoiustamise viisi kasutamine silo säilitamiseks on kulukas. Asukoha suhtes on neid võimalik valmistada kohe põllu kõrvale, kust antud taimne materjal on niidetud (Buxton jt, 2003).

Tranšeehoidlat kasutati säilitusviisina antud lõputöö oma uurimuse põhjal kõige rohkem. Tranšeehoidla on enamasti valatud betoonist, mille toetusseinad on piiritletud kahest või kolmest küljest. Hoidla põhi on ehitatud betoonplaatidest, plaatide vahel peab olema piisavalt ühendusliiteid, et ennetada maapinna liikumisest tingitud pragunemisi. Hoidla seinad peaksid olema vähemalt kümne kraadise kalde all väljapoole, et tihendamisel oleks taimne materjal võimalikult tihedalt vastu seinu. Tranšeehoidlad on maapealsed või on ehitatud osaliselt või hoidla seinu ulatuses täielikult maa sisse. Külmemates piirkondades on kasulik ehitada maasiseseid, et hoida ühtlast temperatuuri ning vältida silo läbikülmumist. Tranšeehoidla täitmine käib kiht-kihi haaval ja tihendamine toimub tavaliselt traktoritega. Hoidla täitumise järgselt kaetakse taimne materjal hermeetilisust tagava kilega ja paigaldatakse selle peale omakorda raskused. Tranšeehoidla ehitamine on odavam, kui tornhoidla ehitamine (Buxton jt, 2003).

2. OMAD UURIMUSED

2.1. Materjal ja metoodika

Käesolevas uurimistöös kasutatavate silode andmed pärinevad 2016. aastal Eesti põllumajandustootjate poolt Eesti Maaülikooli söötmisteaduse õppetooli sööda ja ainevahetuse uurimise laboratooriumisse analüüsimiseks toodud söötade andmebaasist. Lõputööks vajalike andmete saamiseks koostati omakorda andmebaas 2016. aastal analüüsitud siloproovide saatelehtedel oleva informatsiooni ja keemilise analüüsi tulemuste alusel.

Siloproovid analüüsiti laboratooriumis üldtunnustatud metoodikate järgi (AOAC, 2005). Söödaproovidest määrati KA-, toorproteiini-, toortuha-, toorkiu- ja toorrasvasisaldus. Silo KA sisalduse määramiseks kuivatati eelkuivatatud (60°C 24 h) söödaproov termostaadis 105°C juures 6 tundi konstantse kaaluni. Toorproteiini sisaldus määrati Kjeldahli meetodil ($N \times 6,25$) analüsaatoriga FOSS Kjeltex™ 8400. Toorkiusisaldus määrati Fibretec süsteemiga ja toorrasvasisaldus analüsaatoriga FOSS Soxtec™ 2043. Toortuhasisaldus leiti peale proovi 6-tunnist põletamist muhvelahjus temperatuuril 500...550°C. Fosfori sisaldus määrati kolorimeetriliselt kollase kompleksühendi põhjal ning kaltsium määrati tuhalahusest trilonomeetriliselt. Saadud toitainete sisalduse alusel arvutati silode toiteväärtuse (metaboliseeruv energia ja –proteiin) näitajad.

Silo fermentatsiooninäitajate analüüsiks ettevalmistamisel segati iga proov korralikult läbi ja kaaluti sellest 50g. Kaalutud proovile lisati 100g destilleeritud vett ning pandi kilega kaetult üheks tunniks toatemperatuuril inkubeerima. Peale inkubeerimist lahus filtreeriti riidest filtriga ja määrati pH ja ammoniaaklämmastiku sisaldus üldlämmastikust. Ammoniaaklämmastiku sisaldus üldlämmastikust määrati analüsaatoriga Kjeltex™ 8400. Silo pH määrati pH-meetriga Hanna Instruments HI 2210. Etanooli, lenduvate ravhapete (äädik-, propioon- ja võihape), piimhappe, 1,3-propaandiool ja 2,3-butaandiool sisaldused analüüsiti gaas-kromatograafiliselt.

Siloproovi keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooni kvaliteedi näitajatele lisaks täiendati andmebaasi informatsiooniga silo botaanilise koostise, niite, hoidla tüübi ja silokindlustuslisandi kasutamise kohta. Andmebaasi koondati 1728 siloproovi andmed, millest 1543 proovi tulemusi kasutati bakalaureusetöö koostamisel ja statistilisel analüüsil. Analüüsist jäeti välja konserveeritud teraviljavilja andmed ning proovid, mille andmed olid puudulikud.

Botaanilise koostise järgi jagati silo andmestik järgmiselt: 1) kõrrelised, 2) kõrreliste rohke põldhein (kõrrelised ja punane ristik), 3) põldhein (kõrreliste ja punase ristiku vahetult vastavalt 50% ja 50%), 4) punane ristik ja punase ristiku rohke, 5) kõrrelised ja lutsern (vahetult vastavalt 50% ja 50%), 6) lutsern ja lutserni rohke heintaimik ning 7) mais. Rohusilod (va maisisilo) jaotati 1) esimese, 2) teise ning 3) kolmanda ja neljanda niite silodeks. Hoidla tüübi alusel jaotati silod 1) rullsiloks, 2) tranšeesiloks ja 3) maaepäraseks kuhjaks. Silokindlustuslisandi kasutamise kohta teada oleva informatsiooni alusel toimus jaotus järgmiselt: 1) ilma lisandita, 2) bioloogilise lisandiga ja 3) keemilise lisandiga valmistatud silod. Alajaotuste siseselt analüüsiti ja uuriti erinevusi keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooni näitajate vahel.

Andmed koondati andmebaasiks ning kogu andmetöötlus, tabelite koostamine ja statistiline analüüs viidi läbi *MS Office 2013* programmiga *Excel*. Andmete õigsuse kontrollimiseks kasutati *Descriptive Statistics*. Andmete statistiliseks analüüsi kasutati funktsiooni t-test.

3. TULEMUSED

3.1. Silode keemiline koostis, toiteväärtus ja fermentatsiooninäitajad

Silo keemilist koostist, toiteväärtust ja fermentatsiooninäitajaid mõjutavad paljud tegurid, sh botaaniline koostis, niide, taimede koristusaegne arengufaas, närvutamine, silokindlustuslisandi kasutamine, hoiustamise tingimused, silo tootmisprotsessi kiirus, ilmastik jpm.

3.1.1. Botaanilise koostise mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele

Eesti põllumajandusettevõtete siloproovide analüüsi tulemused olid küllalt erineva keemilise koostise, toiteväärtuse- ja fermentatsiooninäitajatega. Silode KA sisaldused varieerusid vahemikus 150 kuni 668 g/kg. Botaanilise koostise alusel jaotatud silode keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajad silodes on väljatoodud tabelis 1. ning nende vahelised statistilised olulisused erinevused on esitatud lisades 1.-1.2.

Keskmiselt kõrgeima KA sisaldusega silod valmistati kõrrelistest heintaimedest ning kõige madalamad maisist, vastavalt 372,3 g/kg ja 286,0 g/kg. Tulemus on omane antud taimeliikide kooslusele (Olt, 2004). Samas varieerus kõrreliste silo KA sisaldus kõige enam (standardhälve 10,49 g/kg) ning oli ühtlaseim maisisilo korral. Silode omavahelisel statistilise analüüsil saadud p -väärtus $<0,05$ näitab, kuidas botaaniline koostis mõjutab silo KA sisaldust (lisa 1.-1.2).

Toorproteiin sisaldab endas söödas olevaid kõiki lämmastikku sisaldavaid ühendeid. Peamiselt on nendeks valgulised ja mittevalgulised lämmastikühendid. Mida hilisem on taimede arengufaas, seda väiksem toorproteiinisaldus. Hea rohusilo toorproteiinisaldus on ligikaudu 150 g/kg. Liblikõielistel taimedel on kõrgem toorproteiinisaldus võrreldes

kõrreliste heintaimede või maisiga (Henderson, 1972). Kõige suurem toorproteiinisaldus oli lutsernist ja lutserni rohkest taimsest materjalist valmistatud silodes (161,7 g/kg KA-s), järgnesid punase ristiku ja punase ristiku rohked silod, vastavalt ja 157,0 g/kg KA-s. Maisisilole (80,8 g/kg KA-s) omaselt on keskmine toorproteiinisaldus alla 100 g/kg (Olt, 2013). Kõrreliste silod sisaldasid toorproteiini keskmiselt 122,5 g/kg KA-s. Kõrreliste kasvuperiood on pikem, kui liblikõielistel heintaimedel.

Silo toortuhasisaldus peaks jääma alla 100 g/kg KA-s, aga varases arengufaasis koristatud liblikõieliste puhul võib tuhasisaldus ületada nimetatud väärtust. Liigne toortuhasisaldus viitab pinnasega saastumisele, mis võib põhjustada silo riknemist (Olt, 2013). Kõige kõrgema keskmise toortuhasisaldusega olid punase ristiku silod (101,6 g/kg KA-s). Madalaim toortuhasisaldus oli maisisilodes, vastavalt 41,0 g/kg KA-s. Botaanilisel koostisel oli mõju silo toortuhasisaldusele, välja arvatud punase ristiku ja lutserni silo vahel ning punase ristiku-kõrreliste (50:50) ja lutserni-kõrreliste (50:50) segude vahel.

Antud uurimistöös kasutatud andmetel olid kõrreliste ja liblikõieliste silo keskmine energiasisaldus vahemikus 8,8 kuni 9,3 MJ/kg KA-s, mis tähendab, et silod olid toodetud nii heintaimede optimaalses arengufaasis, kui ka seda, et osadelt põldudel oli koristamisega hilinetud. Maisisilode keskmine energiasisaldus on 10,4 MJ/kg KA-s. Kuivõrd tervikkoristatud mais erineb oma keemiliselt koostiselt heintaimedest, siis ka maisisilo enamus keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooni parameetrid olid statistiliselt oluliselt erinevad ($p < 0,05$) võrreldes rohusilodega.

Heas silos domineerib fermentatsiooninäitajatest piimhape. Õige fermentatsiooniprotsessi tulemusel suureneb piimhappesisaldus. Erineva botaanilise koostisega silode keskmine piimhappesisaldus oli 43,7 kuni 60,4 g/kg KA-s. Piimhappe varieeruvus oli suurim võrreldes teiste fermentatsiooninäitajatega. Kõige rohkem piimhapet oli kõrreliste rohke põldheina silos ja madalaim kõrreliste silos, kuid mõlemas silos moodustas piimhape üle 70% kogu hapetest. Tulemustest nähtub, et kõrreliste silo väiksem piimhappesisaldus tagas pH taseme 4,5, mis on piisav 37% KA sisaldusega silo säilitamiseks. Samuti oli mittesoovitud fermentatsiooniproduktide sisaldus kõrreliste silos kõige väiksem. Erinevate silode keskmine pH oli vahemikus 3,9 kuni 4,8. Silo pH sõltub silo KA sisaldusest. Märjema silo korral peaks hea silo pH olema 4. Botaanilisel koostisel oli mõju silo pH-le, välja arvatud nelja võrdluse vahel. Etanooli toodavad silosse erinevad pärmseened. Kõrreliste-lutserni segu silo sisaldas teistest usutavalt vähem etanooli ($p < 0,05$). Kõrreliste silos oli usutavalt

vähem äädikhapet võrreldes teistega ning ka kõrreliste rohke põldheina silo erines äädikhappe osas teistest silodest ($p < 0,05$). Sarnane tendents oli propioonhappega. Suurema liblikõieliste osakaaluga silode vahel äädik- ja propioonhappe osas erinevusi ei ilmnenud. Palderjanhappesisaldus silos on tavaliselt marginaalne ning palderjanhappe mõju söötmisele pole teada. Küll aga on nii silo kvaliteedi kui söötmise seisukohalt oluline võihape. Õige fermentatsiooni korral võihape silos puudub. Võihappe esinemine viitab mittesoovitud käärimisele ning kui silos on võihappelise fermentatsiooni ilminguid, siis sisaldus ajas suureneb. Lisaks tuleb sellise silo söötmisel arvestada, et lüpsilehm ei saaks üle 50 grammi võihapet päevas (Olt, 2013). Uuritud silode puhul oli tulemustest näha, et punast ristikut ja lutserni sisaldavates silodes oli võihapet enam kui puhaste kõrreliste ja kõrrelise rohke põldheina silos. See kinnitab kirjanduse ülevaates väljatoodut, et liblikõielised heintaimed raskendavad sileerimist, mille tulemusena silo fermentatsiooni kvaliteet võib jätta soovida. Sileerimise tingimusi aitab parandada närvutamine suurendades taimse materjali KA sisaldust. Sileeritava materjali suurem KA vähendab võihappebakterite aktiivsust. Maisisilos esineb võihappet harva, mistõttu selle sisalduse jäi alla 0,5 g/kg KA-s. Võihappesisaldusega on seotud ammoniaaklämmastiku esinemine silos, kuna võihappebakterid lõhustavad taimedes olevaid lämmastikühendeid. Seega, sarnaselt võihappega oli ammoniaaklämmastikku rohkem silodes, mille koostises oli rohkem liblikõielisi heintaimi, ning see seos oli statistiliselt usutav ($p < 0,05$).

Tulemustest selgus, et siloks kasvatatava taimse materjali botaanilisel koostisel on mõju nii silo keemilisele koostisele kui fermentatsiooni kvaliteedile.

.

Tabel 1. Keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooni näitajad erineva botaanilise koostisega silodes*

Näitajad	KÕ		KÕP		KP		PR		KL		LL		M	
	n=101		n=429		n=507		n=189		n=74		n=94		n=148	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Kuivaine, g/kg	372,3	10,49	336,0	8,76	318,1	8,39	295,0	8,08	319,2	8,10	301,8	8,16	286,0	5,11
Kuivaines, (g/kg):														
Toorproteiin	122,5	2,93	132,2	2,31	146,5	2,04	157,0	2,21	153,9	2,48	161,7	2,42	80,8	1,20
Toortuhk	74,3	1,61	81,6	1,81	92,2	1,58	101,5	1,84	93,5	1,34	99,0	1,37	41,0	0,80
Toorkiud	287,4	3,37	275,3	3,29	275,6	3,57	279,6	3,93	288,1	4,35	301,6	4,05	238,6	3,63
Toorrasv	32,8	0,33	32,1	0,24	33,1	0,25	32,4	0,32	31,4	0,30	32,0	0,32	28,0	0,31
Kaltsium	77,8	2,11	95,7	2,31	130,7	22,0	167,2	3,36	135,8	2,88	177,2	3,66	33,0	1,10
Fosfor	26,5	0,66	27,3	0,64	29,5	0,59	31,6	0,65	31,2	0,58	29,9	0,59	24,6	0,50
Metaboliseeruv energia, MJ/kg	9,1	0,48	9,1	0,44	9,1	0,39	9,1	0,34	9,3	0,40	8,8	0,40	10,4	0,22
Metaboliseeruv proteiin	73	4,97	74	3,88	77	3,89	78	3,96	75	3,19	73	3,57	76	2,59
Vatsa proteiinibilanss	-3	23,62	6	18,85	13	16,56	23	17,69	25	22,33	36	21,06	49	12,25
Orgaanilise aine seeduvus, %	61	3,31	62	2,55	63	2,82	63	2,42	63	2,58	61	2,59	68	2,56
Etanool	6,9	5,37	6,5	4,76	6,2	4,40	6,3	4,11	5,1	3,46	7,2	4,44	20,7	15,88
Äädikhape	14,8	10,11	18,3	11,69	21,7	12,54	25,1	13,51	22,8	16,02	22,8	14,30	23,2	11,04
Propioonhape	0,5	1,13	0,7	1,55	1,1	1,94	1,4	2,38	1,8	4,00	1,3	1,97	0,4	0,90
Palderjanhape	0,1	0,82	0,2	1,48	0,7	3,66	0,9	3,64	0,9	3,18	0,5	1,81	0,0	0,12
Võihape	2,2	4,80	2,4	5,75	3,9	8,85	5,0	10,52	4,8	11,76	4,3	9,68	0,2	0,56
Piimhape	43,7	32,50	60,4	33,18	56,6	31,31	48,6	24,30	56,7	32,59	44,4	28,89	53,3	30,70
Hapete summa	60,8	37,57	81,9	37,86	84,0	35,82	81,1	29,92	85,7	39,41	73,4	33,91	77,3	36,48
1,2 propaandiool	1,9	4,61	1,6	4,14	1,2	2,59	0,9	2,20	1,2	3,14	0,5	1,06	4,1	7,17
2,3 butaandiool	1,3	1,77	1,2	1,47	1,6	1,89	2,3	3,35	1,1	1,01	1,8	2,71	1,7	1,64
pH	4,5	0,56	4,4	0,38	4,5	0,38	4,7	0,42	4,5	0,41	4,8	0,47	3,9	0,35
Ammoniaak-N % üld N-st, %	3,9	2,63	4,3	2,82	5,3	4,29	6,2	4,93	6,6	6,87	6,7	4,62	3,4	1,32

*-KÕ – kõrrelised, KÕP - põldhein kõrreliste rohke, KP – põldhein (kõrreline/punane ristik 50/50), PR – punane ristik (punase ristiku rohke), KL – kõrreline/lutsern 50/50, LL – lutsern (lutserni rohke), M– mais, n – vaatluste arv \bar{x} – keskmine, s – standardhälve.

3.1.2. Kuivainesisalduse mõju rohu- ja maisisilo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele

Erineva KA sisalduse järgi jagati rohusilod kolme gruppi (tabel 2). Silosid, mille KA sisaldus jäi vahemikku 250 kuni 350 g/kg oli kõige rohkem (n=632).

Tabel 2. Keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajad erineva kuivainesisaldusega rohusilodes*

Näitajad	Kuivaine, g/kg					
	<250 n= 300		250-350 n= 632		>350 n= 462	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Kuivaine, g/kg	216,	2,34	300,0	2,75	423,0	6,17
Kuivaines, g/kg:						
Toorproteiin	147,0	2,54	146,0	2,50	137,0	2,46
Toortuhk	97,0	2,16	90,0	1,75	84,0	1,55
Toorkiud	305,0	4,46	274,0	3,18	269,0	2,89
Toorrasv	31,0	0,29	33,0	0,27	33,0	0,26
Kaltsium	135,0	3,96	125,0	3,85	117,0	3,78
Fosfor	30,0	0,72	29,0	0,61	28,0	0,61
Metaboliseeruv energia, MJ/kg	8,9	0,38	9,1	0,39	9,2	0,40
Metaboliseeruv proteiin	73	4,26	76	4,18	77	4,24
Vatsa proteiinibilanss	21	20,47	16	20,17	5	19,51
Orgaanilise aine seeduvus, %	61	2,68	62	2,61	63	2,63
Etanool	8,2	5,49	6,6	4,34	4,9	3,47
Äädikhape	32,1	15,27	21,6	10,45	12,3	6,74
Propioonhape	2,8	3,32	0,7	1,14	0,2	0,89
Palderjanhape	2,1	5,71	0,3	1,10	0,0	0,28
Võihape	9,5	14,44	2,6	5,23	0,9	2,65
Piimhape	56,9	37,30	63,6	30,47	41,9	23,52
Hapete summa	103,2	34,98	88,5	32,00	55,3	27,38
1,2-propaandiool	0,9	2,45	1,7	3,74	1,0	2,94
2,3-butaandiool	1,8	2,53	1,7	2,24	1,1	1,37
pH	4,6	0,50	4,4	0,35	4,6	0,43
Ammoniaak- N % üld N-st, %	8,4	7,03	4,9	2,47	3,4	1,56

*- n – vaatluste arv \bar{x} – keskmine, s – standardhälve.

Kõrgeima keskmise toorproteiini-, toortuha- ja kaltsiumisisaldusega olid närvutamata silod (KA-ga alla <250 g/kg). See on seletatav sellega, et nimetatud grupi moodustasid tõenäolisemalt liblikõielistest heintaimedest valmistatud silod, mida on raskem närvutada. Samuti oli neis silodes kõrgem toorkiusisaldus (305 g/kg KA-s) ning hilisemast koristusaegsest arengufaasist tingitud madalam metaboliseeruv energia. Märksilo puhul on raske saavutada õige fermentatsioonprotsess. Silod KA-ga alla 250 g/kg sisaldasid rohkem enamikke (va 1.2-propaandiool) määratud fermentatsiooniprodukte võrreldes kuivemate

silodega ning piimhape moodustas napilt üle poole kogu hapetest. Samuti varieerusid nende silode vastavad parameerid suuresti. See näitab, et kui siloks koristatavat haljasmassi ei närvutata või ilmastik ei võimalda närvutada, siis on suurem oht sööda riknemiseks. Suurem piimhappesisaldus oli silodes KA vahemikuga 250 kuni 350g/kg. Silos kuivainega üle 350 g/kg ei ole vaja nii palju piimhapet soovitud fermentatsiooni kvaliteedi saavutamiseks erinevalt märgsilost. Ka võihappebakterite kasvuks ei sobi kuivemad tingimused ning seda kinnitavad ka tulemused. Võihapet esines vähem silodes KA-ga üle 350g/kg. Erinevate KA sisaldustega silode keskmine pH oli 4,4 kuni 4,6. Kui kuivema silo (KA üle 350 g/kg) säilitamiseks piisab pH-st 4,6, siis märjale silole mitte. KA sisaldusel oli oluline mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooni kvaliteedile (lisa 4).

Maisisilod jagati samuti kolme gruppi, nagu rohusilod (tabel 3). Silod mille KA sisaldus jäi vahemikku 250 kuni 350 g/kg oli kõige rohkem (n= 98).

Tabel 3. Keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajad erineva kuivainesisaldusega maisisilodes*

Näitajad	Kuivaine, g/kg					
	<250 n= 37		250-350 n= 98		>350 n= 18	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Kuivaine, g/kg	226,0	1,91	294,0	2,78	393,2	6,64
Kuivaines, g/kg:						
Toorproteiin	91,3	1,51	80,8	1,60	78,1	2,15
Toortuhk	46,8	1,11	41,1	1,06	41,8	1,36
Toorkiud	271,1	3,03	231,1	2,95	214,3	3,57
Toorrasv	26,0	0,25	28,3	0,29	31,2	0,25
Kaltsium	40,7	2,33	34,8	2,25	37,4	2,36
Fosfor	26,3	0,51	24,7	0,54	23,6	0,36
Metaboliseeruv energia, MJ/kg	10,3	0,26	10,4	0,30	10,4	0,54
Metaboliseeruv proteiin	74	2,80	77	2,27	77	2,20
Vatsa proteiinibilanss	-35	13,73	-49	15,77	-54	20,74
Orgaanilise aine seeduvus, %	66	2,89	69	2,46	69	3,31
Etanool	23,5	16,96	21,2	15,76	8,1	6,13
Äädikhape	31,2	12,95	20,9	8,86	19,1	9,11
Propioonhape	0,9	1,29	0,3	0,71	0,2	0,55
Palderjanhape	0,0	0,00	0,0	0,10	0,1	0,24
Võihape	0,4	0,89	0,1	0,37	0,2	0,56
Piimhape	67,1	34,57	50,2	24,40	51,3	49,87
Hapete summa	99,5	40,70	71,7	28,05	70,7	54,11
1,2-propaandiool	3,9	7,05	3,7	6,96	6,1	7,84
2,3-butaandiool	1,9	1,61	1,7	1,72	1,1	0,80
pH	4,0	0,59	3,9	0,24	4,0	0,30
Ammoniaak- N % üld N-st, %	4,2	1,72	3,2	1,10	3,5	1,35

*- n – vaatluste arv \bar{x} – keskmine, s – standardhälve.

Maisi- ja rohusilode puhul oli sarnane, et väiksema KA sisaldusega silode keskmine toorproteiini-, toortuha-, ja toorkiusisisaldus oli kõrgem. Kuid siin on see otseselt seotud maisi arengufaasiga. Hilisemas arengufaasis suureneb tõlviku osakaal, mille tulemusena proteiini-, tuha- ja kiusisaldus proportsionaalselt väheneb. Sõltumata KA sisaldusest jäid maisisilode metaboliseeruv energia sisaldused ja pH sarnaseks. Rohkem etanooli, äädikhapet, propioonhapet, piimhapet ja ammoniaaklämmastikku sisaldasid madalama KA-ga maisisilod, mis näitab, et fermentatsioon oli märjas maisisilos intensiivsem (lisa 3). Kirjanduse järgi võiks maisisilo kuivainesisaldus jääda vahemikku 300-350 g/kg (Zirnask, 2014). Väiksem sisaldus viitab sellele, et maisi taim ei ole saavutanud silo koristamise ajaks optimaalset arengufaasi, samas suurema kuivainesisalduse korral väheneb märgatavalt tähtsuse seeduvus.

3.1.3. Niite mõju rohusilo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele

Antud lõputöös kasutatud siloproovide niited olid vahemikus esimene kuni neljas niide. Niidete alusel jagati silod I. niide, II. niide ja III. niide. Suurem osa silomaterjalist koristatakse esimesest ja teisest niitest, hilisemate niidete osakaal on juba väiksem (tabel 4). Kõige vähem oli siloproove neljandast niitest (ainult 7 proovi), mistõttu arvastati need kolmanda niite hulka.

Tabel 4. Keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajad erineva niitega rohusilodes*

Näitajad	I niide n= 475		II niide n= 430		III ja IV niide n= 308	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Kuivaine, g/kg	346,8	8,71	317,6	9,22	304,3	8,1
Kuivaines, g/kg:						
Toorproteiin	133,2	2,43	145,5	2,28	155,1	2,3
Toortuhk	80,7	1,70	92,5	1,70	97,8	1,7
Toorkiud	270,1	3,42	287,2	3,52	279,0	3,6
Toorrasv	33,1	0,26	32,3	0,28	32,1	0,3
Kaltsium	106,4	3,55	128,6	3,49	143,0	3,8
Fosfor	26,0	0,56	30,6	0,59	31,0	0,6
Metaboliseeruv energia, MJ/kg	9,3	0,41	9,1	0,39	8,9	0,4
Metaboliseeruv proteiin	10	0,44	9	0,54	9	0,58
Vatsa proteiinibilanss	4	19,13	15	18,68	25	18,93
Orgaanilise aine seeduvus, %	63	2,69	62	2,70	61	2,59
Etanool	7,1	4,78	5,8	4,48	6,0	3,96
Äädikhape	16,5	11,09	22,8	13,12	23,7	13,64
Propioonhape	0,5	1,22	1,2	2,10	1,3	2,52
Palderjanhape	0,1	0,77	0,8	3,91	0,8	3,34
Võihape	2,0	5,26	4,0	8,76	4,6	10,26
Piimhape	56,5	33,50	51,3	27,73	57,6	30,00
Hapete summa	75,5	38,40	80,3	33,63	88,0	34,57
1,2-propaandiool	1,5	4,10	1,2	2,45	1,1	2,59
2,3-butaandiool	1,2	1,67	1,5	1,91	2,0	2,58
pH	4,4	0,43	4,5	0,40	4,6	0,45
Ammoniaak- N % üld N-st, %	3,7	2,55	5,8	4,81	6,2	4,78

*- n – vaatluste arv \bar{x} – keskmine, s – standardhälve.

Kõrgeima KA sisaldusega silod saadi I niitest, mis näitab, et 2015-2016 koristusaastal olid soodsaimad närvutamise tingimused I niite ajal. Selgelt joonistus välja suundumus, et toorproteiini-, toortuha- ja kaltsiumisisaldus on suurem hilisemates niidetes. Uuskülvide korral on tavapärane, et liblikõielisi heintaimi on I niites vähem ja hilisemates nende osakaal suureneb. Sama trendi on näha fermentatsiooninäitjate juures. pH on madalaim I niite silodes ning äädikhappe-, võihappe-, ammoniaaklämmastiku-, 2.3-butaandiooli sisaldused suurenevad järgnevatel niidetega. Sellest võib järeldada, et sileerimise tingimused on raskemad hilisemate niide korral. Uuskülvide puhul raskendab sileerimist liblikõieliste suurem osakaal, kuid mõjutab ka see, et sügisel esineb looduses rohkem riknemist põhjustavaid mikroorganisme. Kõrgeima metaboliseeruva energiaga silod olid esimese niite silodel (9,3 MJ/kg KA-s). Niitel oli oluline ($p < 0,05$) mõju silo keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooni näitajatele (lisa 4).

3.1.4. Hoiustamise viisi mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele

Hoidla tüübi alusel jagati uuritud silod järgmiselt: 1) maapealsesse kuhja valmistatud silod, 2) rullsilod ja 3) tranšeesilod.

Tabel 5. Keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajad erineva hoidla silodes*

Näitajad	Kuhi n= 263		Rull n= 188		Tranšee n= 773	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Kuivaine, g/kg	315,1	8,36	300,0	10,58	325,1	8,51
Kuivaines, g/kg:						
Toorproteiin	144,4	2,46	139,9	2,99	143,5	2,39
Toortuhk	92,6	1,95	90,2	1,96	88,5	1,80
Toorkiud	282,2	3,36	278,0	3,56	279,0	3,70
Toorrasv	32,4	0,27	33,0	0,30	32,5	0,27
Kaltsium	130,2	3,68	137,3	4,35	120,2	3,77
Fosfor	29,1	0,62	28,4	0,74	29,3	0,78
Metaboliseeruv energia, MJ/kg	9,1	0,43	9,10	0,40	9,1	0,40
Metaboliseeruv proteiin	76	4,60	75	4,46	76	4,17
Vatsa proteiinibilanss	14	19,76	11	25,08	13	19,85
Orgaanilise aine seeduvus, %	62	2,82	62	2,76	62	2,69
Etanool	6,0	4,20	9,1	5,67	5,8	4,15
Äädikhape	22,8	12,13	14,3	9,71	21,6	13,61
Propioonhape	1,0	1,85	0,4	1,39	1,2	2,21
Palderjanhape	0,4	2,21	0,0	0,21	0,7	3,44
Võihape	3,5	8,19	2,9	6,87	3,7	8,62
Piimhape	55,7	29,48	39,8	23,85	56,8	31,79
Hapete summa	83,5	33,27	57,3	31,17	84,0	35,99
1,2-propaandiool	1,8	3,44	0,2	1,45	1,3	3,36
2,3-butaandiool	1,6	2,21	3,1	3,93	1,2	1,13
pH	4,5	0,36	4,8	0,49	4,5	0,41
Ammoniaak- N % üld N-st, %	5,0	3,28	4,3	2,43	5,4	4,78

*- Kuhi- maapealse kuhja silo, Rull- rullisilo, Tranšee- tranšeesilo, n – vaatluste arv \bar{x} – keskmine, s – standardhälve.

Erinevatel hoiustamise viisidel on oma eelised ja miinused. Eesti põllumajandusettevõtted kasutavad silo säilitamiseks peamiselt tranšeehoidlaid. Tranšeedesse (773 tk) oli valmistatud märkimisväärselt rohkem silosid kui rullidesse või maapealsetesse kuhjadesse (tabel 5). Käesolevas uurimistöös hoidla tüübil silo KA, toorkiu-, toorrasva- ja proteiinisisaldusele suuri erinevusi märgata ei olnud. Küll aga oli suurem toortuhasisaldus maapealsetes

kuhjades hoiustatud silol (92,6 g/kg KA-s). Maapealseid kuhjasid rajatakse sageli põldude äärde, kust parasjagu haljasmassi koristatakse, mistõttu on suurem oht traktori ratastega kanda pinnast hoidlasse ja saastada sileeritavat taimset materjali. Kõrge toortuhasisalduse põhjuseks võib olla ka taimede lamandumine või sademete tõttu mullaga saastunud taimik (Olt, 2013). Statistiline oluline erinevus oli maapealse kuhja ja tranžeesilode toortuhasisalduse vahel (lisa 5).

Fermentatsiooni näitajatest esines rullsilos rohkem etanooli (9,1 g/kg KA-s) võrreldes teiste hoidla tüüpidega. Silodes, mille etanoolisisaldus on kõrge, viitab suurele pärmseente hulga. Samuti joonistus välja, et rullsilodes on kõigi analüüsitud hapete sisaldused madalamad. Seda kinnitab rullsilode kõrgem pH (pH 4,8). Fermentatsiooni näitajate profiil (va võihape) erines rullsilol oluliselt võrreldes teiste silode vastavatest näitajatest.

3.1.5. Silokindlustuslisandi kasutamise mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooninäitajatele

Silokindlustuslisandite kasutamine sõltub paljustki põllumajandusettevõtetes kasutatavast silotootmise tehnoloogiast, ilmastikuoludest või rahalistest ressurssidest ning paljudest muudest teguritest. Antud töös jagati silod teada oleva informatsiooni alusel kindlustuslisandi kasutamise järgi kolme gruppi: 1) ilma lisandita, 2) bioloogilise ja 3) keemilise lisandiga valmistatud silod. Eesti põllumajandusettevõtted kasutasid 2016. aastal analüüsitud silode valmistamisel kõige rohkem bioloogilisi silokindlustuslisandeid (n= 567). Tulemustest nähtus, et sõltumata sellest, kas kasutatakse silokindlustuslisandit või mitte, silo tootjad võimalusel rakendavad haljasmassi närvutamist (tabel 6). Närvutamine suurendab taimede kuivaine- ja suhkrutesisaldust, tõstab looduslike piimhappebakterite konkutentsi võimet ning parandab sileerimise tingimusi.

Tabel 6. Keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajad erineva silokindlustusvahendite ja ilma lisanditeta silodes*

Näitajad	Lisandita n= 62		Bioloogiline n= 567		Keemiline n= 275	
	\bar{x}	s	\bar{x}^*	s	\bar{x}	s
Kuivaine g/kg	354,1	10,45	321,1	8,43	309,0	8,21
Kuivaines, g/kg:						
Toorproteiin	137,7	3,02	135,9	2,99	142,8	3,07
Toortuhk	85,9	1,85	82,2	2,18	89,0	2,35
Toorkiud	263,7	2,99	271,4	3,65	281,1	3,95
Toorrasv	32,9	0,29	312,4	0,32	31,3	0,31
Kaltsium	122,1	4,77	110,5	4,54	120,5	4,47
Fosfor	27,5	0,59	28,7	0,63	29,1	0,66
Metaboliseeruv energia, MJ/kg	9,2	0,44	9,3	0,54	9,1	0,57
Metaboliseeruv proteiin	76	4,75	76	3,92	75	4,31
Vatsa proteiinibilanss	7	23,95	6	26,77	13	27,76
Orgaanilise aine seeduvus, %	63	2,98	63	3,03	62	3,28
Etanool	7,0	3,95	7,9	7,58	7,1	8,53
Äädikhape	18,0	13,60	20,9	12,62	22,0	12,16
Propioonhape	0,3	0,92	0,8	1,76	1,3	2,20
Palderjanhape	0,2	0,68	0,4	2,27	0,7	4,23
Võihape	1,9	3,82	2,6	7,27	3,6	8,82
Piimhape	50,1	43,26	57,9	29,64	56,5	30,16
Hapete summa	69,7	53,58	82,5	33,55	84,3	35,10
1,2-propaandiool	0,8	3,78	2,2	4,87	1,0	2,34
2,3-butaandiool	2,0	2,18	1,4	1,43	1,5	2,34
pH	4,7	0,48	4,4	0,40	4,5	0,46
Ammoniaak- N % üld N-st, %	3,7	1,80	4,5	3,57	6,1	5,03

*- \bar{x} – keskmine, s – standardhälve.

Keemilist silokindlustuslisandit oli kasutatud keskmiselt märjemate silode (309,0 g/kg) valmistamisel. See on asjakohane, kuna märjema taimse materjali korral pärsib keemiline silokindlustuslisand mittesoovitud mikroorganismide arengut silos. Suurema KA sisaldusega (354,1 g/kg) olid silod, mis olid tehtud ilma silokindlustuslisanditeta. See tähendab, et tootjad ei näinud vajadust lisada sellise KA sisalduse juures lisandeid. Samas, lisanditeta silode piimhappesisaldus oli väikseim ning selle varieeruvus suurim (43,26 g/kg), mis omakorda näitab, et ilma lisandita silo tegemisel on suurem võimalust ebaõnnestuda.

Samuti jäi pH kõrgemaks silodel, kus ei kasutatud silokindlustuslisandeid. Selliseid siloproove, millel lisandeid ei kasutatud, oli kogu valimist ainult 62 silol.

Paljud bioloogilised lisandid sisaldavad piimhappebaktereid, mille eesmärgiks on soodustada piimhappelise käärimise silos. Bioloogiliste silokindlustuslisandite kasutamise puhul oli küll kõrgem piimhappesisaldus (57,9 g/kg KA-s), kuid statsistiliselt usutavat erinevust ei leitud (lisa 6). Toortuhasisaldus oli kõrgem keemilise silokindlustuslisandiga silodes (89,0 g/kg). Keemilise silokindlustuslisanditega silod olid ka madalama KA sisaldusega ning saastatuse oht mullaga on selletõttu suurem. Keemiliste silokindlustuslisanditega valmistatud silodel oli enamus hapete (va või- ja piimhappe) sisaldus kõrgem kui ilma lisandita ja bioloogilise lisandiga valmistatud silodel. Keemiliste lisandite lisamine oli arvatavasti tarvitusele võetud liigsete sademete tõttu. Lisanditeta ja keemiliste silokindlustusvahenditega silode vahel on tugev statistiline seos äädik- ja võihappe puhul. Silokindlustuslisandite kasutamise toime väljendus ka silode madlases pH-s ($p < 0,05$).

4. KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED

Põllumajandusettevõtetal on kasutada erineva mullastikuga põllud. Vastavalt võimalustele on soetatud silo tootmiseks vajalik tehnika ning silo valmistamisel kasutatakse erinevaid hoiustamise viise. Sileeritava taimse materjalide fermentatsioon võib paljustki sõltuda botaanilisest koostisest, selle koristusaegsest arengufaasist, ilmastikust, kui ka niitest. Silo kvaliteeti mõjutavaid tegureid on palju alates silokultuuri valikust, koristusest, hoiustamisest kuni ettesöötmiseni. Käesolevas bakalaureusetöös uuriti 2016. aastal Eesti Maaülikooli söötmisteaduse õppetooli sööda ja ainevahetuse laboratooriumis analüüsitud silode botaanilise koostise ning mõningate tootmisest tingitud faktorite mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooni kvaliteedile. Siloproovide keemilise analüüsi tulemuste põhjal loodi andmebaas, mida täiendati informatsiooniga silo botaanilise koostise, niite, hoidla tüübi ja silokindlustuslisandi kasutamise kohta. Töös uuriti botaanilise koostise, kuivainesisalduse, niite, hoiustamise viisi ja silokindlustuslisandi kasutamise mõju silo kvaliteedile.

Analüüsi tulemuste põhjal saab teha järgmised järeldused:

- Erinevate põllumajandusettevõtete toodetud silod olid erineva kvaliteediga. Kasutatud andmebaasis esines nii väga hea kvaliteediga kui ka loomadele söötmiseks kõlbmatuid silosid.
- Siloks kasvatatava taimse materjali botaanilisel koostisel oli mõju nii silo keemilisele koostisele kui fermentatsiooni kvaliteedile. Silodes, mille koostises oli rohkem liblikõielisi heintaimi sisaldasid rohkem toorproteiini, toortuhka ja kaltsiumi ning selliste silode kuivainesisaldus oli reeglina madalam. Punane ristik ja lutsern sileeritavas materjalis raskendavad sileerimist, mille tulemusena neis silodes esines sagedamini mittesoovitud fermentatsiooniprodukte.
- Tervikkoristatud maisisilo erineb rohusilodest. Maisisilo enamus keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooni parameetrid olid statistiliselt oluliselt erinevad ($p < 0,05$) võrreldes rohusilodega.
- Kuivainesisaldusel oli oluline mõju silo keemilisele koostisele, toiteväärtusele ja fermentatsiooni kvaliteedile. Silod kuivainega alla 250 g/kg sisaldasid rohkem

enamikke (va 1.2-propaandiool) fermentatsiooniprodukte ning piimhape moodustas napilt poole kogu hapetest võrreldes kuivemate silodega. See näitab siloks koristatavat haljasmassi närvutamise vajadust, vastasel juhul on oht sööda riknemiseks suur.

- Madalama kuivainesisaldusega maisisilodes oli rohkem etanooli, äädik-, propioon-, ja piimhapet ning ammoniaaklämmastikku.
- Hilisemate niidete rohusilodes oli suurem toorproteiini-, toortuha- ja kaltsiumisisaldus. Sama trendi oli näha fermentatsiooninäitjate juures. pH oli madalaim I niite silodes ning äädikhappe-, võihappe-, ammoniaaklämmastiku-, 2.3-butaandiooli sisaldused suurenesid järgnevate niidetega. Sellest võib järeldada, et sileerimise tingimused on raskemad hilisemate niide korral ning liblikõieliste heintaimede osakaal varasemates niidetes võis olla väiksem.
- Üle 63% uuritud silodest oli valmistatud tranšeedesse. Maapealsetesse kuhjadesse valmistatud silodel on suurem oht saastuda pinnasega. Statistiline oluline erinevus ($p < 0,05$) leiti maapealse kuhja ja tranžeesilode toortuhasisalduse vahel. Samuti joonistus välja, et rullsilodes oli kõigi analüüsitud hapete sisaldused madalamad ning seda kinnitas ka rullsilode kõrgem pH.
- Ilma silokindlustuslisanditeta valmistatud silode piimhappesisaldus oli väikseim (50,1 g/kg KA-s) ning selle varieeruvus suurim (43,26 g/kg KA-s). See näitab, et ilma lisandita silo tegemisel on suurem võimalust ebaõnnestuda. Bioloogiliste silokindlustuslisandite kasutamise puhul oli küll kõrgem piimhappesisaldust (57,9 g/kg KA-s), kuid statistiliselt usutavat erinevust ei leitud. Keemilist silokindlustuslisandit oli kasutatud keskmiselt märjemate silode (309,0 g/kg) valmistamisel.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Ahven, R.** (1961) Kõrgeväärtusliku silo valmistamine. Tartu, Eesti riiklik kirjastus, lk 50-53.
- Bender, A.** (2006) Eritüübiliste rohumaade rajamine ja kasutamine I osa. Eesti Vabariigi Põllumajandusministeerium Jõgeva Sordiaaretuse Instituut, Tartu Ülikooli Kirjastus, lk 78-89, 130-197.
- Bender, A.** (2006) Eritüübiliste rohumaade rajamine ja kasutamine II osa. Eesti Vabariigi Põllumajandusministeerium Jõgeva Sordiaaretuse Instituut, Tartu Ülikooli kirjastus, lk 549-555.
- Buxton, D. R., Muck, R. E., Harrison, J. H.** (2003) Silage Science and Technology. Madison, Wisconsin, USA, lk 405-409, 426-430, 440-441, 443-444.
- Henderson, A.R., McDonald, P., Woelford, M.K.** (1972) Journal of the Science of food and Agriculture, lk 1079-1087.
- Kaldmäe, H., Olt, A.** (2008) Tranšee- ja rullsilu kvaliteedist. Maaleht, Maamajandus.
- Kokk, K., Songisepp, E.** (2013) Silo mikrobioloogia. Tervisliku Piima Biotehnoloogiate Arenduskeskus OÜ. Tartu, OÜ Paar, lk. lk 6-15.
- Kuningas, K.** (2013) Koguteraviljasilo. Kasutatud Dr Jörg Winkelmann loengu materjale.
- Kärt, O.** (2015) Maisisilo toiteväärtuse uurimine ja söötmissstrateegia väljatöötamine lüpsilehmadele sõltuvalt maisisilo koristusaegsest vegetatsioonistaadiumist.
- Lättemäe, P.** (2008) Silo. Eesti Maaviljeluse Instituut, Saku, AS Rebellis, lk 6-7, 18.
- Läänemets, O.** (2013) Hea sort selgub katsetades. Äripäev. Tallinn.
- McDonald, P., Henderson A.R., Heron S.J.E.** (1991) The Biochemistry of Silage. Second Edition. Great Britain by Cambrian Printers Ltd, Aberystwyth, lk 32-35.
- Ohshima, M.** (1970) Japanese Journal of zootechnical Science, lk 97-103.

- Oll, Ü.** (1993) Söödad. Tallinn, lk 15-20.
- Older, H.** (2011) Kohalikud söödad. Saku, As Rebellis, lk 96, 130, 133-135.
- Older, H.** (1997) Piimakarja ja konsulendi käsiraamat. Saku, As Rebellis, lk 74-76, 79, 177-178.
- Olt, A.** (2003) Eestis aretatud liblikõieliste heintaimede ja nendest valmistatud silode keemilisest koostisest ning toitainete omastamisest. Tartu, lk 13-16.
- Olt, A.** (2013) Silo keemiline koostis ja toiteväärtus. Tartu, OÜ Paar, lk 5-30.
- Olt, A.** (2016) Silokindlustuslisanditest. Terve loom ja tervislik toit 2016 artiklite kogumik, Ecoprint, lk 61-66.
- Pahlow, G., Muck R. E., jt** (2003) Microbiology of Ensiling. Silage Science and Technology, Agronomy NO. 42 ASA, CSSA, SSSA, lk 31.
- Sarand, R.-J.** (2006) Rohu märg- ja kuivsäilitamine, lk 132
- Sheldrick, R.D., Newman, G., Roberts, D.J.** (1995) Legumes for Milk and meat. Great Britian, Chalcombe Publication, lk
- Tamm, U.** (2017) Parema toiteväärtusega rohusööt. Eesti Taimekasvatuse Instituut. Lk 4-6.
- Vough, L.R., Glick, I.** (1993) Round Bale Silage. Lancaster, Pennsylvania, USA, lk 117-120.
- Zirnask, K.** (2014) Maisisilo lüpsilehmade ratsioonis. Magistritöö, lk 31-33, 37,

LISAD

Lisa 1. Erineva botaanilise koostisega silode statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*

Näitajad	KÕ vs LL	KÕ vs KL	KÕ vs M	KÕ vs PR	KÕ vs KÕP	KÕ vs KP	LL vs KL
Kuivaine	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,17
Toorproteiin	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toortuhk	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toorkiud	<0,05	0,98	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toorrasv	<0,05	<0,05	<0,05	0,20	<0,05	0,41	0,25
Kaltsium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fosfor	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,19	<0,05	0,38
Metaboliseeruv energia	<0,05	0,67	<0,05	0,92	0,56	0,78	<0,05
Metaboliseeruv proteiin	0,78	0,16	<0,05	<0,05	0,33	<0,05	<0,05
Vatsa proteiinibilass	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Orgaanilise aine seeduvus	0,78	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Etanool	0,87	<0,05	<0,05	0,33	0,46	0,19	<0,05
Äädikhape	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,80
Propioonhape	<0,05	<0,05	0,66	<0,05	0,13	<0,05	0,32
Palderjanhape	0,07	<0,05	0,21	<0,05	0,28	<0,05	0,29
Võihape	0,06	0,09	<0,05	<0,05	0,80	<0,05	0,81
Piimhape	0,95	<0,05	<0,05	0,30	<0,05	<0,05	<0,05
Kokku happeid	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2-propaandiool	<0,05	0,31	<0,05	<0,05	0,63	0,22	<0,05
2,3-butaandiool	0,22	0,49	<0,05	<0,05	0,75	0,12	0,06
pH	<0,05	0,77	<0,05	<0,05	0,01	0,77	<0,05
Ammoniaak lämmastik	<0,05	<0,05	0,12	<0,05	0,16	<0,05	0,72

*- vs- versus, KÕ – kõrrelised, KÕP – põldhein kõrreliste rohke, KP – põldhein (kõrreline/punane ristik 50/50), PR – punane ristik (punase ristiku rohke), KL – kõrreline/lutsern 50/50, LL – lutsern (lutserni rohke), M– mais

Lisa 1.1. Erineva botaanilise koostisega silode statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*

Näitajad	LL vs M	LL vs PR	LL vs KÕP	LL vs KP	KL vs M	KL vs PR	KL vs KÕP
Kuivaine	0,16	0,51	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	0,11
Toorproteiin	<0,05	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	0,36	<0,05
Toortuhk	<0,05	0,27	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toorkiud	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	<0,05
Toorrasv	<0,05	0,25	0,62	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Kaltsium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fosfor	<0,05	<0,05	<0,05	0,58	<0,05	0,27	<0,05
Metaboliseeruv energia	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,66	0,25
Metaboliseeruv proteiin	<0,05	<0,05	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Vatsa proteiinibilass	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,43	<0,05
Orgaanilise aine seeduvus	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,95	<0,05
Etanool	<0,05	0,19	0,29	0,08	<0,05	<0,05	<0,05
Äädikhape	<0,05	0,26	<0,05	0,46	0,68	0,20	<0,05
Propioonhape	<0,05	0,65	<0,05	0,30	<0,05	0,43	<0,05
Palderjanhape	<0,05	0,16	0,21	0,29	<0,05	0,97	0,07
Võihape	<0,05	0,53	0,06	0,73	<0,05	0,81	0,10
Piimhape	<0,05	0,22	<0,05	<0,05	0,35	<0,05	0,49
Kokku happeid	0,96	0,07	<0,05	<0,05	0,11	0,30	0,41
1,2-propaandiool	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,40	0,41
2,3-butaandiool	0,37	<0,05	0,10	0,74	<0,05	<0,05	0,53
pH	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ammoniaak lämmastik	<0,05	0,26	<0,05	<0,05	<0,05	0,71	<0,05

*- vs- versus, KÕ – kõrrelised, KÕP – põldhein kõrreliste rohke, KP – põldhein (kõrreline/punane ristik 50/50), PR – punane ristik (punase ristiku rohke), KL – kõrreline/lutsern 50/50, LL – lutsern (lutserni rohke), M– mais

Lisa 1.2. Erineva botaanilise koostisega silode statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*

Näitajad	KL <i>vs</i> KP	M <i>vs</i> PR	M <i>vs</i> KÕP	M <i>vs</i> KP	PR <i>vs</i> KÕP	PR <i>vs</i> KP	KÕP <i>vs</i> KP
Kuivaine	0,91	0,22	<0,05	<0,05	<0,05	0,30	<0,05
Toorproteiin	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toortuhk	0,67	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toorkiud	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,21503	0,86	0,71
Toorrasv	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,27	<0,05	<0,05
Kaltsium	0,23	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fosfor	0,11	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Metaboliseeruv energia	0,40	<0,05	<0,05	<0,05	0,28	0,82	0,55
Metaboliseeruv proteiin	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	<0,05
Vatsa proteiinibilass	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Orgaanilise aine seeduvus	0,57	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Etanool	0,01	<0,05	<0,05	<0,05	0,65	0,33	0,30
Äädikhape	0,76	0,18	<0,05	0,19	<0,05	<0,05	<0,05
Propioonhape	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,20	<0,05
Palderjanhape	0,65	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	<0,05
Võihape	0,58	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,14	<0,05
Piimhape	0,80	0,10	<0,05	0,27	<0,05	0,93	0,07
Kokku happeid	0,69	0,36	0,19	<0,05	0,68	0,24	0,38
1,2-propaandiool	0,98	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,15
2,3-butaandiool	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
pH	0,45	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ammoniaak lämmastik	0,14	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

*- *vs*- versus, KÕ – kõrrelised, KÕP - põldhein kõrreliste rohke, KP – põldhein (kõrreline/punane ristik 50/50), PR – punane ristik (punase ristiku rohke), KL – kõrreline/lutsern 50/50, LL – lutsern (lutserni rohke), M– mais

Lisa 2. Erineva kuivainetesisaldusega rohusilode statistiline seos

keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*

Näitajad	I vs II	I vs III	II vs III
Kuivaine	<0,05	<0,05	<0,05
Toorproteiin	0,59	0,59	<0,05
Toortuhk	<0,05	<0,05	<0,05
Toorkiud	<0,05	<0,05	<0,05
Toorrasv	<0,05	<0,05	<0,05
Kaltsium	<0,05	<0,05	<0,05
Fosfor	0,34	0,34	<0,05
Metaboliseeruv energia	<0,05	<0,05	<0,05
Metaboliseeruv proteiin	<0,05	<0,05	<0,05
Vatsa proteiinibilass	<0,05	<0,05	<0,05
Orgaanilise aine seeduvus	<0,05	<0,05	<0,05
Etanool	<0,05	<0,05	<0,05
Äädikhape	<0,05	<0,05	<0,05
Propioonhape	<0,05	<0,05	<0,05
Palderjanhape	<0,05	<0,05	<0,05
Võihape	<0,05	<0,05	<0,05
Piimhape	<0,05	<0,05	<0,05
Kokku happeid	<0,05	<0,05	<0,05
1,2-propaandiool	<0,05	<0,05	<0,05
2,3-butaandiool	0,64	0,64	<0,05
pH	<0,05	<0,05	<0,05
Ammoniaak lämmastik	<0,05	<0,05	<0,05

*- I- KA sisaldusega <250 g/kg, II- KA sisaldusega 250-350 g/kg, III- KA sisaldusega >350 g/kg, vs- versus.

**Lisa 3. Erineva kuivainetesisaldusega maisisilode statistiline seos
keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel***

Näitajad	I vs II	I vs III	II vs III
Kuivaine	<0,05	<0,05	<0,05
Toorproteiin	0,00	0,05	0,62
Toortuhk	0,02	0,30	0,84
Toorkiud	<0,05	<0,05	0,07
Toorrasv	<0,05	<0,05	<0,05
Kaltsium	0,20	0,72	0,67
Fosfor	0,19	0,07	0,27
Metaboliseeruv energia	<0,05	0,27	0,97
Metaboliseeruv proteiin	<0,05	<0,05	0,16
Vatsa proteiinibilass	<0,05	<0,05	0,42
Orgaanilise aine seeduvus	<0,05	<0,05	0,51
Etanool	0,43	<0,05	<0,05
Äädikhape	<0,05	<0,05	0,44
Propioonhape	<0,05	0,01	0,57
Palderjanhape	0,32	0,33	0,43
Võihape	0,08	0,39	0,56
Piimhape	<0,05	0,32	0,93
Kokku happeid	<0,05	<0,05	0,94
1,2-propaandiool	0,96	0,25	0,24
2,3-butaandiool	0,56	0,01	0,01
pH	0,86	0,68	0,48
Ammoniaak lämmastik	<0,05	0,17	0,39

*- I- KA sisaldusega <250 g/kg, II- KA sisaldusega 250-350 g/kg, III- KA sisaldusega >350 g/kg, vs- versus.

Lisa 4. Erineva rohusilo niidete statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*

Näitajad	Niide		
	I vs II	I vs III/IV	II vs III/IV
Kuivaine	<0,05	<0,05	<0,05
Toorproteiin	<0,05	<0,05	<0,05
Toortuhk	<0,05	<0,05	<0,05
Toorkiud	<0,05	<0,05	<0,05
Toorrasv	<0,05	<0,05	<0,05
Kaltsium	<0,05	<0,05	<0,05
Fosfor	<0,05	<0,05	<0,05
Metaboliseeruv energia	<0,05	<0,05	<0,05
Metaboliseeruv proteiin	<0,05	<0,05	<0,05
Vatsa proteiinibilass	<0,05	<0,05	<0,05
Orgaanilise aine seeduvus	<0,05	<0,05	<0,05
Etanool	<0,05	<0,05	<0,05
Äädikhape	<0,05	<0,05	<0,05
Propioonhape	<0,05	<0,05	<0,05
Palderjanhape	<0,05	<0,05	<0,05
Võihape	<0,05	<0,05	<0,05
Piimhape	<0,05	<0,05	<0,05
Kokku happeid	<0,05	<0,05	<0,05
1,2-propaandiool	<0,05	<0,05	<0,05
2,3-butaandiool	<0,05	<0,05	<0,05
pH	<0,05	<0,05	<0,05
Ammoniaak lämmastik	<0,05	<0,05	<0,05

*- vs- versus.

Lisa 5. Erineva silohoidlate statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel*

Näitajad	Kuhi vs Rull	Kuhi vs Tranšee	Rull vs Tranšee
Kuivaine	0,24	0,08	0,96
Toorproteiin	0,09	0,60	0,12
Toortuhk	0,21	<0,05	0,26
Toorkiud	0,47	0,08	0,53
Toorrasv	0,09	0,88	0,07
Kaltsium	0,07	<0,05	<0,05
Fosfor	0,26	0,67	0,12
Metaboliseeruv energia	0,56	<0,05	0,08
Metaboliseeruv proteiin	<0,05	<0,05	<0,05
Vatsa proteiinibilass	0,14	0,33	0,33
Orgaanilise aine seeduvus	0,18	0,30	0,49
Etanool	<0,05	<0,05	<0,05
Äädikhape	<0,05	0,16	<0,05
Propioonhape	<0,05	0,13	<0,05
Palderjanhape	<0,05	0,11	<0,05
Võihape	0,36	0,79	0,17
Piimhape	<0,05	0,60	<0,05
Kokku happeid	<0,05	0,82	<0,05
1,2-propaandiool	<0,05	0,06	<0,05
2,3-butaandiool	<0,05	<0,05	<0,05
pH	<0,05	0,97	<0,05
Ammoniaak lämmastik	<0,05	0,23	<0,05

*- vs- versus, Kuhi- maapealse kuhja silo, Rull- rullsilu, Tranšee- tranšeesilo

Lisa 6. Erineva silokindlustusvahendite statistiline seos keemilise koostise, toiteväärtuse ja fermentatsiooninäitajate vahel *

Näitajad	I vs B	I vs K	B vs K
Kuivaine	<0,05	<0,05	<0,05
Toorproteiin	0,65	0,24	<0,05
Toortuhk	0,15	0,27	<0,05
Toorkiud	0,06	<0,05	<0,05
Toorrasv	0,05	<0,05	<0,05
Kaltsium	0,07	0,81	<0,05
Fosfor	0,11	<0,05	0,34
Metaboliseeruv energia	0,08	<0,05	<0,05
Metaboliseeruv proteiin	0,65	0,19	0,06
Vatsa proteiinibilass	0,72	0,06	<0,05
Orgaanilise aine seeduvus	0,59	<0,05	<0,05
Etanool	0,14	0,90	0,19
Äädikhape	0,11	<0,05	0,20
Propioonhape	<0,05	<0,05	<0,05
Palderjanhape	0,05	0,04	0,27
Võihape	0,23	<0,05	0,10
Piimhape	0,17	0,27	0,54
Kokku happeid	0,07	<0,05	0,48
1,2-propaandiool	<0,05	0,66	<0,05
2,3-butaandiool	<0,05	<0,05	0,23
pH	<0,05	<0,05	<0,05
Ammoniaak lämmastik	<0,05	<0,05	<0,05

*- vs- *versus*, I- ilma lisandita, B – bioloogiline silokindlustuslisand, K - keemiline silokindlustuslisand

Mina, Annabell Lohvart,
(20/07/1995 49507204943)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Silo tootmise ja fermentatsiooni kvaliteedi vaheliste seoste, mille juhendaja on Andres Olt,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 23.05.2019

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)